

# UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE HUMIFIKATION DER LAUBSTREU IN EINEM UNGARISCHEN ERLN-MOORWALD

Von

G. GERE und L. HARGITAI

Lehrstuhl für Tiersystematik der Eötvös Loránd Universität, Budapest; Lehrstuhl für  
Bodenkunde der Universität für Gartenbau, Budapest

Eingegangen: 14. April 1972

Der Zersetzungsprozeß des organischen Rohstoffes, so auch die bodenbiochemische Gestaltung der Laubstreu verläuft auf äußerst komplizierten Wegen. Der Beginn und Verlauf dieses Prozesses hängt von der Art des Fallaubes, von dessen C : N-Verhältnis, von den jeweiligen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen sowie vom Bodensubstrat selbst ab. Bei den Abbauprozessen wird der Bodenfauna bekannterweise eine große Rolle zugemessen. Die saprophagen Tiere bereiten – abgesehen von den Verdauungsprozessen – auch durch die Zerkleinerung des Fallaubes die Rohstoffe für die weiteren mikrobiellen Zersetzungsprozesse vor.

Der chemische Verlauf des Laubstreuabbaues wurde vorausgehend anderthalb Jahre hindurch in einem ungarischen Eichenwald (*Quercetum petraeae-cerris*) verfolgt (Gere und Hargitai, im Druck). Die damalige Zielsetzung war einen solchen Waldbestand zu untersuchen, der in Ungarn am meisten verbreitet ist und wo die Abbauverhältnisse am besten das allgemeine Bild widerspiegeln. Derzeit wurde zum Vergleich die Laubstreu eines Erlen-Moorwaldes gewählt, also das Fallaub eines solchen Bestandes, wo die Qualität des Laubes, der Boden, die Feuchtigkeitsverhältnisse und auch die Zusammensetzung der Fauna extrem von dem vorausgehend angeführten Eichenwald abweicht. Während unseren Untersuchungen wurde die allmähliche Veränderung des C- und N-Gehaltes der unter natürlichen Verhältnissen liegenden Laubstreu analysiert, damit zusammenhängend das C : N-Verhältnis bestimmt sowie die Veränderung der Humusqualität während des Abbaues verfolgt. Da zu den Versuchen stets intaktes Fallaub von verschiedenem Alter oder Teile davon herangezogen wurden, also ein solches Material, das die Bodentiere noch nicht verdauten, konnten wir bloß die mikrobiellen Zersetzungsprozesse bzw. die Humifikation verfolgen. Die Rolle der Bodenfauna bei diesen Prozessen soll in einer anderen Arbeit bekanntgegeben werden.

## Methode

Im untersuchten Waldbestand wurden im Herbst des Jahres 1970, nach dem Laubfall Streuproben genommen. Die Proben wurden im nächsten Frühjahr und dann zweimonatlich bis zum Herbst wiederholt. Außerdem wurde einmal, der Probserie vorausgehend, im Mai des vorangehenden Jahres Laubstreu gesammelt. So stand uns frische, einjährige sowie zwischen den beiden Zeitpunkten ein verschiedenes Alter aufweisende Laubstreu zur Verfügung. Älteres Fallaub konnte nicht untersucht werden, da in diesem Bestand das Laub innerhalb eines Jahres praktisch vollkommen vom Boden verschwindet.

Die Probeentnahmen erfolgten an 5 verschiedenen, jedoch nicht weit voneinander gelegenen Stellen. Im Laboratorium wurde das Fallaub sortiert, von fremden Stoffen gereinigt, so daß nur reines Laub zurückblieb, welches wir dann homogenisiert zu den Versuchen herangezogen haben.

Der C-Gehalt wurde durch den Glühverlust, der N-Gehalt der Proben mit dem Gerät von Wanger-Parnass bestimmt. In der Tabelle werden die Durchschnittswerte von je 3–4 Proben angeführt. Die Angaben beziehen sich auf lufttrockenes Material.

Die Veränderung der Humusqualität wurde mit dem speziellen Verfahren von H a r g i t a i (1955) durchgeführt, welches zur Bestimmung der humusbiochemischen Veränderungen in den Rohstoffen sich besonders gut bewährte. Die Methode besteht darin, daß mit Hilfe von 0,5%iger NaOH- und 1%iger NaF-Lösung aus den organischen Substanzen Extrakte gewonnen werden, um deren Extinktionen miteinander zu vergleichen. Der Stabilitätskoeffizient wird, wie dies aus den Arbeiten von H a r g i t a i (1957, 1966) hervorgeht, folgendermaßen errechnet:

$$K = \frac{E_{\text{NaF}}}{E_{\text{NaOH-H}}}, \text{ wobei}$$

K = den Stabilitätskoeffizienten

E = die Extinktion

H = den Gesamthumusgehalt bedeutet.

Der Stabilitätskoeffizient reagiert sehr empfindlich auf die Veränderungen der Humusqualität.

## Charakterisierung des Untersuchungsbestandes

Die Untersuchungen erfolgten in einem *Fraxino pannonicæ-Alnetum hungaricum*—Bestand in dem Donau-Theiß Zwischenstromgebiet, die der Ortschaft Ócsa. Der Waldbestand ist ungefähr 100 Jahre alt und steht auf einem Moorboden. Die Laubkronenschicht wird vorwiegend von *Alnus glutinosa* und stellenweise vereinzelt von *Fraxinus oxycarpa* gebildet. Die Strauchschicht wird hie und da von *Sambucus nigra* vertreten. Im Unterwuchs dominiert an mehreren Stellen *Urtica dioica*, oft

fehlt jedoch jeglicher Unterwuchs. Die Bodenoberfläche ist nicht ganz eben. Um jeden Erlenstamm bilden sich wegen den hervorragenden Wurzeln kleine Erhebungen. Der Boden steht vom Spätherbst bis zum Frühjahr unter Wasser. Die erwähnten Erhebungen gelangen jedoch nicht unter Wasser. Das Gewicht der aus der Kronen- und Strauchschicht stammenden Laubstreu betrug im Mai des Jahres 1954, in absoluten Trockengewicht berechnet 1366 kg/ha (Gere 1966). Die Bodenfauna des Bestandes ist außerordentlich reich. Die Individuendichte der Diplopoden und Asseln beträgt 2763 Exemplare pro m<sup>2</sup>, ihre Zoomasse macht 9,40 g/m<sup>2</sup> aus (mündliche Mitteilung von I. Loks a). Diese Tiere fressen einen großen Teil der dortigen Laubstreu, nach Berechnungen kann dies auch 60% im Jahr betragen (Gere 1962).

### Untersuchungsergebnisse

Der C- und N-Gehalt von Laubstreuproben verschiedenen Alters wird in *Tab. 1* zusammengefaßt.

*Tabelle 1*

C- und N-Gehalt der Laubstreu verschiedenen Alters, auf das Lufttrockengewicht bezogen

Zeitpunkt der Probeentnahmen	C %	N %
23. X. 1970 .....	54,43	2,08
19. III. 1971 .....	52,84	2,82
8. V. 1970 .....	51,13	3,16
18. V. 1971 .....	51,60	3,08
20. VII. 1971 .....	52,75	2,83
5. X. 1971 .....	50,25	3,06

Aus den Angaben geht eindeutig hervor, daß der C-Gehalt mit der Zeit allmählich abnimmt, ähnlich wie im Falle des vorausgehend untersuchten Eichenlaubes (Gere und Hargitai, im Druck). Der Prozeß verläuft bereits im Winter ziemlich rasch. Dies ist — soweit angenommen werden kann — ein Beweis dafür, daß das Erlenlaub sehr früh zum Abbau tendiert. Auffallend ist die Feststellung, daß die am 20. Juli entnommene Laubstreuprobe hinsichtlich ihres C-Gehaltes nicht in die Reihenfolge paßt, die kennzeichnend für die anderen Proben waren, sondern den C-Gehalt aufweist, der in den Proben vom März angetroffen werden konnte. Dies läßt sich in Kenntnis der weiter oben erwähnten Bodenoberflächenverhältnisse erklären. Die nicht unter Wasser gelangenden und zeitweilig unter Wasser stehenden Geländeteile bilden einen mosaikartigen Komplex, wodurch die nahe aneinander-



liegende Streu unter grundsätzlich verschiedene Verhältnisse geraten kann. Die feuchteren Verhältnisse beschleunigen den Abbau, im allgemeinen wird die Tätigkeit der Bodenfauna günstig beeinflusst (van der Drift 1963, Gere 1966). Im vorliegenden Fall muß jedoch auch der Umstand berücksichtigt werden, daß zeitweilig eine vollkommene Überschwemmung vorliegt, wobei auf den unter Wasser liegenden Flecken vorübergehend anaerobe Verhältnisse auftreten konnten, die den Abbau in eine ganz andere Richtung verschieben. Im Laufe der Zeit wird auf diese Weise die Laubstreu immer mehr heterogener. Dieser Zustand widerspiegelt sich in den Fallaubproben, die im Juli gesammelt wurden.

Der N-Gehalt des frischen Fallaubes erwies sich als ziemlich hoch. Da das untersuchte Laub in erster Reihe aus Erlenblättern bestand, war dies auch aufgrund der Literaturangaben zu erwarten (Dunger 1958, Járó-Horváth 1959, Nykvist 1962). Der prozentuelle Stickstoffgehalt im Fallaub erhöhte sich wesentlich in der Winterperiode. Im späteren verlangsamte sich dieser Prozeß bzw. kam zum Stillstand. Der Grund dafür ist zweifelsohne in der Entstehung des Gleichgewichtszustandes des im nachstehenden zur Erörterung gelangenden C:N-Verhältnisses zu suchen. (Die Proben aus dem Monat Juli weisen die Abbauergebnisse eines früheren Stadiums auf.).

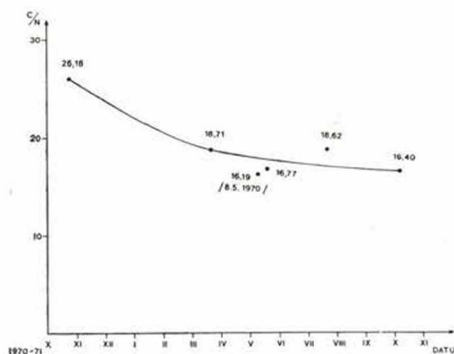


Abb. 1.

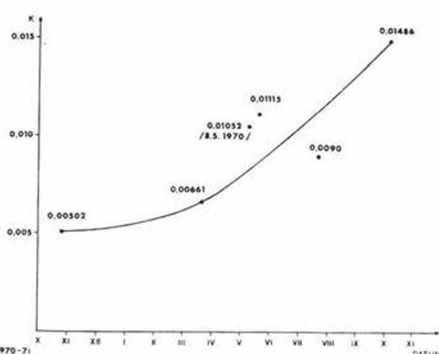


Abb. 2.

Die Veränderungen des C:N-Verhältnisses werden auf Abb. 1 veranschaulicht. Dieses Verhältnis ist bereits im Anfangstadium — infolge des hohen Stickstoffgehaltes — gering. Ein solches C:N-Verhältnis ist hinsichtlich der Laubzersetzung sehr günstig (Wittich, in Járó-Horváth 1959, Witkamp — van der Drift 1961). Die erhaltene Kurve besitzt einen regelmäßigen hyperbolischen Verlauf, doch weist sie — abgesehen von der Winterperiode — nur eine geringe Veränderung auf. Das C:N-Verhältnis des Erlenlaubes erreicht demnach bald den Gleichgewichtszustand, der unter den gegebenen Verhältnissen

charakteristisch und im allgemeinen vom Boden sowie von den klimatischen Einflüssen in beachtlicher Weise bedingt ist. In der gemäßigten Zone stellt sich das Gleichgewicht des C : N-Verhältnisses der Böden im allgemeinen zwischen 10–17 ein. In unseren Untersuchungen fiel das C : N-Verhältnis des bereits halb-, oder einjährigen Erlenfalllaub unter 17. Auffallend sind die Eigenschaften der das C : N-Verhältnis des Erlenlaub anzeigenden Kurve besonders in dem Falle, wenn man sie mit der des Eichenlaub vergleicht (Gere und Hargitai, im Druck). Das Eichenlaub ist – im Gegensatz zum Erlenlaub – äußerst arm an Stickstoff (Dunger 1958, Járó-Horváth 1959, Nykvist 1962, Tsuru 1967) und gehört zu den sich am schwersten zersetzenden Fallaubarten. Eben wegen dem zu Beginn hohen C : N-Verhältnis, nimmt dieses Verhältnis rasch ab, weshalb wir graphisch dargestellt eine – im Vergleich zur vorangehenden – viel steiler ablaufende Kurve erhalten.

Die gewonnenen Werte des C : N-Verhältnisses bringen zwar die zur raschen Zersetzung und Humifikation geeigneten Beschaffenheit des Fallaub zum Ausdruck, sind jedoch in sich noch zur Charakterisierung des ganzen Prozesses nicht ausreichend. Ein vollkommeneres Bild erhalten wir dann, wenn wir den Verlauf der Humifikationsänderungen durch die Veränderungen der Stabilitätskoeffizienten verfolgen. (Abb. 2.). Diese Hyperbole steigt verhältnismäßig sehr steil an, der K-Wert hat sich in einem Jahr nahezu um das Dreifache erhöht. Der Stabilitätskoeffizient des Eichenlaub veränderte sich in der gleichen Zeit von 0,00794 nur auf 0,00945. (Gere und Hargitai, im Druck). All dies steht im Einklang mit den Beobachtungen, die wir über den raschen Abbau des Erlenlaub gemacht haben.

Im untersuchten Waldbestand verläuft also – gegenüber den meisten ungarischen Wäldern – der Abbauprozess und die Humifikation des Fallaubes äußerst rasch. Dies wurde mit dem hohen Stickstoffgehalt des Fallaubes in Zusammenhang gebracht. Es muß jedoch wiederholt erwähnt werden, daß auch den Feuchtigkeitsverhältnissen eine ausschlaggebende Bedeutung zuzumessen ist. In Ungarn, besonders auf den Tschernosemen, aber auch auf den Ackerböden verzögern sich die Abbauprozesse der organischen Rohstoffe im Sommer in Ermangelung der entsprechenden Feuchtigkeit oder sie kommen eventuell zum Stillstand. Die Feuchtigkeitsverhältnisse des von uns untersuchten Geländes waren auch im Sommer entsprechend. Dies beeinflußt auch die bereits vorausgehend erwähnte Tätigkeit der saprophagen Bodenfauna in äußerst günstigem Maße. Von diesen Umständen beeinflußt verschwindet im untersuchten Waldbestand die Laubstreu innerhalb eines Jahres vollkommen vom Boden.



### Zusammenfassung

Es wurden die infolge der mikrobiellen Zersetzungstätigkeit einsetzenden Veränderungen des C- und N-Gehaltes (Tab. 1) sowie des C : N-Verhältnisses (Abb. 1) im Fallaub eines auf Moorboden stehenden *Fraxino pannonicæ-Alnetum* (*hungaricum*)-Bestandes in der Nähe von Ócsa (Ungarn) während eines ganzen Jahres untersucht. Auch die Gestaltung der Humusqualität wurde durch das Extinktionsmeßverfahren mittels zweier Lösungsmittel (1%ige NaF- und 0,5%ige NaOH-Lösung) nachgewiesen. Der Quotient der beiden Extinktionswerte wurde durch den Gesamthumusgehalt dividiert, wodurch sich die Veränderung des Stabilitätskoeffizienten (K) feststellen ließ. (Abb. 2).

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse konnte festgestellt werden, daß der C-Gehalt der hauptsächlich aus Erlenblättern bestehenden Laubstreu bereits im Winter nach dem Laubfall bedeutend abgenommen hat. Der Stickstoffgehalt des Fallaubes nahm zuerst sehr rasch zu, doch verlangsamte sich dieser Prozeß später im Sommer. Eine ähnliche Verlangsamung vollzog sich auch in der Gestaltung des C : N-Verhältnisses. Eine Erklärung hierfür liegt darin, daß in dem an Stickstoffgehalt bekanntlich reichen Erlenlaub (folglich von kleinem C : N-Verhältnis) sich das Gleichgewicht im C : N-Verhältnis des Erlenlaubes, das unter den gegebenen Verhältnissen charakteristisch ist, rasch einstellt. Das Erlenlaub gehört — in erster Linie wegen dem hohen Stickstoffgehalt — zu den sich am schnellsten zersetzenden Laubstreuarten. Den Verlauf der Veränderungen veranschaulicht die Gestaltung des Wertes des Stabilitätskoeffizienten. Während dieser Wert in den vorausgehenden Untersuchungen mit Eichenblättern innerhalb eines Jahres von 0,00794 nur auf 0,00945 gestiegen ist, hat er sich im Falle des Erlenlaubes um das Dreifache vergrößert.

### SCHRIFTTUM

- Drift, J. van der 1963. The disappearance of litter in mull and moor in connection with weather conditions and the activity of the macrofauna. In: *Soil Organisms*, edit. by J. Doekson & J. van der Drift. Amsterdam, 125—133.
- Dunger, W. 1958. Über die Zersetzung der Laubstreu durch die Boden-Makrofauna im Auenwald. *Zool. Jb. Syst.* 86: 129—180.
- Gere, G. 1962. Nahrungsverbrauch der Diplopoden und Isopoden in Freilanduntersuchungen. *Acta Zool. Hung.* 8: 385—415.
- Gere, G. 1966. Feststellung der Gesamtmenge des Fallaubes in den Wäldern Ungarns. *Opusc. Zool. Budapest*, 6: 119—137.
- Gere, G. — L. Hargitai. Untersuchungen über die Humifizierungsprozesse der Laubstreu im Freien und unter Laboratoriumsverhältnissen. Vortrag, abgehalten in Dijon, auf dem IV. Internationalen Bodenbiologischen Kolloquium (14.—20. Sept. 1970). Im Druck.
- Hargitai, L. 1955. Összehasonlító szervesanyag-vizsgálatok különböző talajtípusokon optikai módszerekkel (Vergleichende Rohstoffuntersuchungen an verschiedenen Bodentypen mit optischen Methoden). *Agr. Tud. Egy. Agr. Kar Kiadványai*, Budapest, 2: 1—27.

- H a r g i t a i, L. 1957. Néhány tényező hatása a talajok szervesanyagaira (Der Einfluß einiger Faktoren auf die organischen Stoffe der Böden). Agr. Tud. Egy. Agr. Kar Kiadványai, Budapest, 4: 1–19.
- H a r g i t a i, L. 1966. Proceedings of the VI<sup>th</sup> annual meeting of biochemistry, Budapest. Edited by Biochemical Section of the Hungarian Chemical Society, 293–308.
- J á r ó, Z. – E. H o r v á t h. 1959. Tápanyagkörforgalom a magyar erdők egyes típusaiban (Nährstoffkreislauf in einigen Typen der ungarischen Wälder). Erdészeti Kutatások, 6: 231–246.
- N y k v i s t, N. 1962. Leaching and Decomposition of Litter. V. Experiments of Leaf Litter of *Alnus glutinosa*, *Fagus silvatica* and *Quercus robur*. Oikos, 13: 232–248.
- T s u r u, S. 1967. On studies of the microbial decomposition of various litters and humus formation in volcanic soils. In: Progress in Soil Biology, edited by O. Graff & J. E. Satchell, Braunschweig-Amsterdam, 455–463.
- W i t k a m p, M. – v a n d e r D r i f t, J. 1961. Breakdown of forest litter in relation to environmental factors. Plant and Soil, 15: 295–311.